

武汉走马岭自来水厂三期工程改造实践

王 俊^{1,2,3}, 杨 莹¹, 李柏林¹, 李 晔¹, 王 恒¹, 杨 威¹, 夏天明^{2,3}

(1. 武汉理工大学 资源与环境工程学院, 湖北 武汉 430070; 2. 武汉临空港经济技术
开发区服务业发展投资集团有限公司, 湖北 武汉 430040; 3. 武汉市东西湖自来水公司,
湖北 武汉 430040)

摘 要: 武汉市走马岭水厂于2017年11月底完成三期工程改造,此次在扩大生产规模的基础上,还增设了污泥处理工艺,且实现了自动化运行,不仅节约了水资源,降低了制水成本,更为生产更优质饮用水提供了基础保障。介绍了该水厂三期工艺流程及工程设计特点,并分析了改造前后出厂水水质情况及制水成本,可为水厂后续发展运行提供相关经验。

关键词: 饮用水厂; 工艺改造; 工程设计; 自动化运行; 制水成本

中图分类号: TU991.35 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2019)18-0112-06

Renovation Practice of Wuhan Zoumaling Waterworks Phase III Project

WANG Jun^{1,2,3}, YANG Ying¹, LI Bo-lin¹, LI Ye¹, WANG Heng¹, YANG Wei¹,
XIA Tian-ming^{2,3}

(1. School of Resources and Environmental Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China; 2. Wuhan Linkong Port Economic and Technological Development Zone Service Industry Development Investment Group Co. Ltd., Wuhan 430040, China; 3. Wuhan Dongxihu Water Supply Company, Wuhan 430040, China)

Abstract: Wuhan Zoumaling Waterworks completed phase III renovation project at the end of November 2017. Besides expanding production capacity, the sludge treatment process was also added, and the automation operation was carried out, which not only saved water resources, but also reduced water production cost to guarantee higher quality drinking water. The process and designing characteristics of phase III project was introduced, and the water quality and water production costs before and after the transformation was analyzed, which could provide relevant experience for the subsequent development of the waterworks.

Key words: waterworks; process renovation; engineering design; automated operation; water production cost

供水设施是城市的基础设施,切实保障城市供水系统的稳定运行可以更好地提高人民的生活水平,促进城市的发展^[1]。目前,大多数水厂是在传

统水处理技术的基础之上,对原水进行混凝、沉淀、过滤以及消毒等处理。近年来,我国饮用水厂自动化水平逐步提高,各种先进的自动化仪表已在水厂

生产运行中发挥积极作用。通过自控系统,可对加药加氯、滤池反洗等环节进行实时调节,维持相关处理单元的最佳运行工况,从而有效降低自来水厂能耗,提高水处理效率。

武汉市东西湖区走马岭水厂建成于 2009 年,处于东西湖新型工业化示范园区的中部。2017 年之前(一期及二期)供水能力为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,供水范围覆盖走新路以东全区环状供水管线。随着东西湖区的经济发展,水厂现有供水能力已无法满足用水需求。同时原水厂设备陈旧,自动化程度低,影响了

制水效能的提升。为此,走马岭水厂于 2017 年进行了三期工程改造。

1 工程背景

1.1 改造前工艺概况

走马岭水厂选择从汉江取水,其原水水质保持在《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类水标准及以上。原水依次流经管式静态混合器、折板絮凝池、平流沉淀池、V 型滤池进行处理,最后经清水池加氯消毒后,由送水泵房输送到市政管网。工艺流程见图 1(虚线框内为此次改造增设单元)。

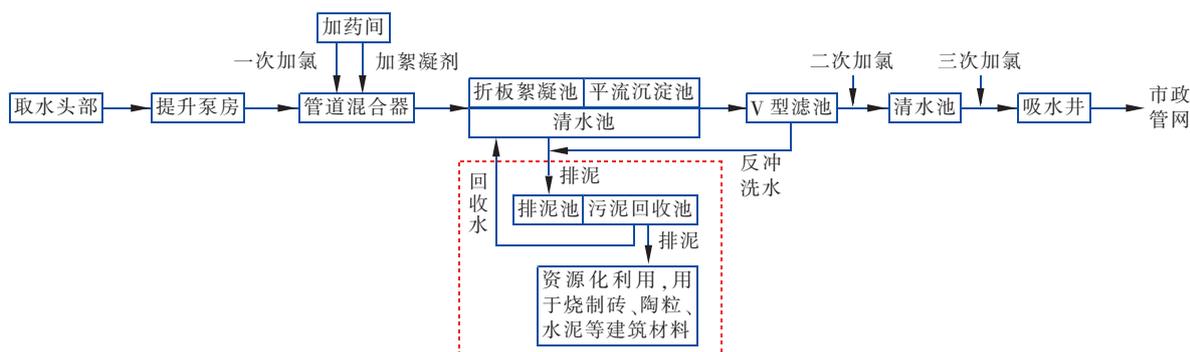


图 1 走马岭水厂工艺流程

Fig. 1 Flow chart of water treatment process of Zoumaling Waterworks

1.2 改造前工艺运行诊断

根据前期出厂水资料数据及运行情况分析,总体处理效果良好,出厂水浊度均小于 0.5 NTU,由此说明常规处理工艺总体上能满足设计要求。但是前期工艺仍存在一些不足之处:

① 清水池。清水池独立设置,占地面积大,管材耗费多。后期水厂还需扩建,增设深度处理工艺,因此需要最大程度节约用地。

② 排泥。前期水厂运行过程中所产生的污泥水直接排入汉江,不仅是对水资源的一种浪费,还会对汉江及周围水体环境造成威胁,如今,环保部门对水厂生产废水排放管理更严格,为使生产废水处理达标,更好地保护环境,需增设污泥处理系统。

③ 加药。常规加药已不能精准应对水质的动态变化,需针对不同水质情况,采取智能系统投加药剂。

2 改造工程设计

2.1 改造设计目的

根据现有净水工艺分析,并考虑原水水质的变化,本次扩建工程采用强化常规处理工艺,同时预留远期深度处理用地,使出厂水水质不仅满足相应的

供水水质目标的要求,同时还具有适应今后供水水质进一步提高的条件。

本次改造,除了扩大水厂生产用水规模,还进行了污泥的回收与利用。净水厂排泥水(沉淀池排泥水以及滤池的反冲洗水)约占水厂设计规模的 2%~4%。由于原水浊度较低,排泥水回收利用,还可在一定程度上改善絮凝条件,节省矾耗。经过浓缩脱水处理的水厂污泥可进行资源化利用,例如用于烧制砖、陶粒、水泥等建筑材料等。

在加药工艺选择上,采用离心泵智能化动态投加,以达到节能且保证水质的目的。

2.2 设计方案

走马岭水厂此次改造工程继续采用管式静态混合器。

折板絮凝具有絮凝时间短、药耗低、管理方便、排泥简单、洗池容易、絮凝过程简单等优点,尤其适用于大中型水厂。因此,本次改造采用具有强化混凝效果的折板絮凝池^[2]。

此次改造工程近期规模为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,远期总规模将达 $40 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,如采用斜管沉淀池(需机械排泥),更换斜管工作量大,不易管理且处理效果

的稳定性较平流沉淀池差。而平流沉淀池构造简单,沉淀效果好且稳定,管理方便且有成熟的运行经验。一期工程采用平流沉淀池,沉淀出水浊度基本控制在4 NTU 以下,沉淀效果良好,因此改造工程继续采用平流沉淀池。

V型滤池自动化程度高、管理方便,尽管土建施工技术要求较高,但设计、施工及运行经验成熟,而且气、水反冲再加始终存在的横向表面扫洗,冲洗效果好,冲洗水量大大减少。

针对汉江的水质特点,参照走马岭水厂一期、二期工程的运行经验,根据药剂供应条件,混凝剂采用液体聚合氯化铝铁(PAFC),其优点有:

① 水解生成的化学沉淀物的水合作用弱,因而生成的矾花密实、沉降快、受水温变化的影响小,处理低温低浊水时仍能生成良好的矾花;

② 矾花吸附性能好,对原水中溶解性天然高分子有机物的去除率高;

③ 矾花强度大,不易破碎,即使遭到破碎,也易于重新絮凝;

④ 适用的pH值范围宽。

2.3 主要构筑物及设计参数

2.3.1 折板絮凝、平流沉淀、清水池

采用叠层池1组2座,上层为折板絮凝池、平流沉淀池,下层为清水池,每座设计流量为2 250 m³/h,总平面尺寸为94.40 m×19.90 m。

① 折板絮凝池

每座折板絮凝池平面尺寸为18.08 m×19.90 m,池深为3.60 m,有效水深为3.30 m,反应时间为26.8 min;折板分三段,第一段流速为0.33 m/s,第二段流速为0.21 m/s,第三段流速为0.11 m/s。折板絮凝池采用穿孔管排泥,设置气动快开排泥角阀,排泥彻底、无堵塞,且可实现自动排泥。

② 平流沉淀池

每座平流沉淀池平面尺寸为76.32 m×19.90 m,池深为3.30 m,有效水深为3.00 m,沉淀时间为1.91 h,水平流速为10.81 mm/s。采用泵式桁架吸泥机,可自动往复间歇排泥。为减少风力影响、避免水流紊动、提高沉淀效果,在平流沉淀池内设两道导流墙。

③ 清水池

每座折板絮凝池和平流沉淀池下部都叠建有清水池,清水池总调节容积考虑为近期工程供水规模

的10%,计5 000 m³,设计池深为3.50 m,有效水深为3.20 m,每座清水池有效调节容积约为5 600 m³。

2.3.2 气水反冲洗V型滤池

滤池采用双排布置,管廊设置在两排滤池中央,宽约7.5 m。滤池总平面尺寸为43.20 m×27.80 m,池高为4.40 m。滤池设计流量为4 500 m³/h,正常设计滤速为7.52 m/h,强制滤速为9.02 m/h,总过滤面积为598.8 m²。滤池分6个单元,每个单元为99.8 m²,分为2格,每格宽3.55 m,长14.05 m。

冲洗方式为先气冲,再气/水反冲,最后为水冲。气冲强度为15 L/(s·m²),气水同时冲洗时水冲强度为3.0 L/(s·m²),单独水冲洗强度为6.0 L/(s·m²),表面扫洗强度为2.2 L/(s·m²)。正常过滤时滤池反冲洗周期为36 h。

采用石英砂均质滤料,粒径为0.95~1.25 mm, $K_{80}=1.4$,滤层厚度为1.50 m。下部砾石承托层粒径为4~8 mm,厚度为50 mm。滤层上最大水深为1.20 m,最大过滤水头为2.5 m。

2.3.3 排水池

远期40×10⁴ m³/d规模时共有气水反冲洗滤池24格,设计考虑最多同时冲洗2格,每次每格滤池反冲洗废水量为410 m³。为减小排水池容积,且尽可能均匀回收,避免造成较大的冲击负荷,所有滤池考虑按24 h均匀冲洗,每次反冲洗间隔30 min。

排水池分为可独立运行的2格,单格有效调节容量按容纳1.5格滤池的最大反冲洗水量计为620 m³。排泥池平面尺寸为23.90 m×20.90 m,分为两格,有效水深为2.40 m,总深为4.60 m。

2.3.4 排泥池

排泥池接收折板反应池、平流沉淀池的排泥,沉淀污泥在该池混合后,抽送至污泥浓缩池。一般总排泥量按水量的1%计,约为1 080 m³/d,汛期高浊时排泥量约为2 160 m³/d,每天最多排泥三次。排泥池分为可独立运行的2格,单格有效调节容量按5×10⁴ m³/d规模,一次排泥量为540 m³。排泥池平面尺寸为23.90 m×20.90 m,分为两格,水深为3.0 m,总深为5.20 m。

2.3.5 污泥浓缩池

设计流量为1 080 m³/d,污泥固体负荷为0.50 kg/(m²·h),污泥液面负荷为0.10 kg/(m²·h)。浓缩池为圆形钢筋混凝土结构,1座,直径为18 m,池边水深为5.0 m,超高为0.80 m。浓缩池内设中

心传动浓缩机, $\Phi 18\text{ m}$, $N=0.37\text{ kW}$ 。池内设超声波液位计, 控制浓缩池水位。

2.3.6 污泥脱水车间

污泥脱水车间结合近远期规模考虑, 其中土建按 $40 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 规模设计, 近期设置 2 台离心脱水机(1 用 1 备), 最大处理能力为 $40\text{ m}^3/\text{h}$, 主电动机功率为 37 kW 。近期一般每天只需运行 6 h, 最长运行 9 h。三期工程远期规模达到 $40 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 时, 再增加 2 台同型号脱水机, 考虑 3 用 1 备, 一般每天只需运行 9 h, 最长运行 13.5 h。当原水浊度超过设计值且浓缩池无法储存时, 可考虑延长脱水机工作时间, 直至 24 h 连续运行。

采用阴离子聚丙烯酰胺进行污泥调质, 平均投加率为 $3\text{ kg}/\text{tDS}$ 。设置 1 套絮凝剂自动配制装置, 最大制备能力为 6 kg 干粉/h, 配套电机功率为 2.38 kW 。设 2 台投药计量泵, 单台流量为 $300 \sim 1\,000\text{ m}^3/\text{h}$ (可调), 配套电机功率为 0.55 kW 。

脱水间为钢筋混凝土框架结构, 平面尺寸为 $45.80\text{ m} \times 12.40\text{ m}$ 。

2.3.7 加药间

① 加矾

目前走马岭水厂使用的混凝剂为液态碱式氯化铝。混凝剂设计平均投加量为 $4\text{ mg}/\text{L}$ (按固体商品质量计), 最大投加量为 $8\text{ mg}/\text{L}$ 。溶液池按每天调配 3 次, 溶液浓度按 $8\% \sim 10\%$ 计算, 设 3 座, 单池容积为 23.0 m^3 。采用隔膜计量泵投加。混凝剂投加泵共 3 台(2 用 1 备), 对应 1 台管道凝器。投加泵单台投加能力为 $750\text{ L}/\text{h}$ 、 0.3 MPa 。混凝剂的投加量由游动电流检测仪通过调节计量泵的频率和冲程, 进行自动控制投加。

② 加氯

针对原水水质较好、氨氮偶有超标、有机污染较轻的特点, 从运行管理方便及经营成本低的角度出发, 推荐预氯化及滤后消毒均采用液氯。

预加氯投加点在管道凝器处, 加氯量按流量比例自动控制投加, 投加量为 $0.5\text{ mg}/\text{L}$, 设加氯机 2 台(1 用 1 备), 单台投加量为 $20\text{ kg}/\text{h}$ 。

滤后氯投加点在滤池总出水堰后, 根据余氯量采用闭环自动控制投加, 投量为 $0.5 \sim 1.5\text{ mg}/\text{L}$ 。设加氯机 3 台(2 用 1 备), 单台投量为 $20\text{ kg}/\text{h}$ 。

加氯间及氯库内均设有轴流风机、起吊等辅助设施, 另配有防毒面具。加氯间专门设漏氯吸收装置, 当发生大量氯泄漏事故时, 自动检测报警系统报警, 漏氯吸收装置自动投入运行, 将氯气吸收反应, 以确保周围环境不受污染。

3 改造工程亮点及运行效果

3.1 改造亮点

① 排泥。武汉市大多数水厂的常规处理工艺中, 沉淀池采用行车式泵吸排泥机, 后续需要配套浓缩池等相关构筑物。而本工程采用水下式刮泥机, 改进之后可以短时间排泥, 无需增设浓缩池。此外, 水下式刮泥机对污泥扰动较小, 出水效果更稳定。

② 加药。大多数水厂采用隔膜计量泵加药, 走马岭水厂三期工程采用离心泵智能加药。离心加药泵系统可实现智能化控制; 药剂的投加量除手工配制外, 还可进行自动控制, 当溶液箱液位低于设定值或进水水质浊度发生明显变化时, 由变频器控制加药剂计量泵的加药量, 达到智能化加药的效果。

3.2 出厂水水质

走马岭水厂三期工程自 2017 年底改造完成后开始投产运行, 2018 年 1 月—8 月主要水质指标见表 1、2。

表 1 走马岭水厂三期运行原水主要水质指标

Tab.1 Main water quality of raw water in the third phase of the Zoumaling Waterworks

项 目		1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月
浊度/NTU	最大值	4.34	63.00	79.00	25.00	51.00	73.00	28.00	45.00
	最小值	1.45	2.03	7.00	8.00	7.00	7.00	1.50	4.80
	平均值	2.21	10.63	19.98	11.95	19.40	19.05	6.88	16.16
氨氮/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	最大值	0.27	0.14	0.23	0.16	0.17	0.21	0.17	0.12
	最小值	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.04
	平均值	0.11	0.08	0.11	0.07	0.09	0.09	0.10	0.07
化学耗氧量/ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	最大值	3.18	5.82	3.88	2.90	3.51	3.83	3.40	4.15
	最小值	2.32	2.50	1.67	2.23	2.46	2.46	2.00	1.53
	平均值	2.71	4.01	3.21	2.56	2.91	2.80	2.48	2.40

表2 走马岭水厂三期出厂水主要水质指标

Tab.2 Main water quality of effluent in the third phase of the Zoumaling Waterworks

项目		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
浊度/NTU	最大值	0.47	0.32	0.35	0.18	0.17	0.30	0.20	0.25
	最小值	0.10	0.11	0.12	0.10	0.07	0.05	0.08	0.06
	平均值	0.22	0.22	0.21	0.12	0.11	0.20	0.11	0.13
氨氮/ (mg·L ⁻¹)	最大值	0.04	0.04	0.06	0.08	0.06	0.05	0.04	0.04
	最小值	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
	平均值	0.02	<0.02	0.04	0.02	0.03	0.03	0.02	<0.02
化学耗氧量/ (mg·L ⁻¹)	最大值	2.28	2.58	2.00	2.07	2.20	2.53	5.45	1.98
	最小值	1.58	1.45	1.22	1.21	1.32	1.37	1.20	0.97
	平均值	1.82	1.87	1.55	1.70	1.90	1.85	1.72	1.47

走马岭水厂原水水质基本达到《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)的Ⅲ类水标准。出厂水浊度已基本稳定在0.3 NTU以下,一般为0.2 NTU;氨氮基本稳定在0.02~0.03 mg/L;化学耗氧量正常稳定在1.6~1.8 mg/L;其余水质指标全部满足《生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)。

3.3 运行能耗

分析水厂的生产成本,“三耗”为主要组成部

分。“三耗”即指常规水处理工艺中的氯耗(液氯、二氧化氯、次氯酸钠)、矾耗(聚合氯化铝)与电耗。根据调研数据可知,不同水厂的电耗、药耗差别很大,“三耗”偏高将严重制约水厂的效益^[3]。

走马岭水厂三期改造工程于2017年11月完工并开始投入运营。

2017年1月—8月和2018年1月—8月的制水成本分别见表3、4。

表3 2017年1月—8月走马岭水厂制水成本

Tab.3 Operation cost of the Zoumaling Waterworks from January to August in 2017

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
月供水总量/m ³	1 607 212	1 453 552	1 832 428	1 821 526	1 960 178	2 114 750	3 209 811	3 297 363
日供水量/m ³	51 846	51 913	59 111	60 718	63 232	70 492	103 542	106 367
千吨水耗电量/ (kW·h·10 ³ m ⁻³)	264.48	248.12	247.36	246.92	248.28	248.33	212.64	224.86
千吨水耗矾量/ (kg·10 ³ m ⁻³)	5.41	5.07	4.58	4.36	3.11	3.13	4.39	6.14
千吨水耗氯量/ (kg·10 ³ m ⁻³)	2.69	2.94	2.49	2.92	2.71	2.97	3.34	3.27

表4 2018年1月—8月走马岭水厂制水成本

Tab.4 Operation cost of the Zoumaling Waterworks from January to August in 2018

项目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月
月供水总量/m ³	2 966 872	2 500 327	3 387 805	3 808 341	3 967 812	3 963 310	4 358 030	4 483 605
日供水量/m ³	95 706	89 297	109 284	126 945	127 994	132 110	140 582	149 453
千吨水耗电量/ (kW·h·10 ³ m ⁻³)	146.84	154.13	167.99	177.43	198.35	198.57	191.73	195.01
千吨水耗矾量/ (kg·10 ³ m ⁻³)	11.6	8.80	11.95	11.79	11.69	11.38	11.9	13.52
千吨水耗氯量/ (kg·10 ³ m ⁻³)	2.75	2.46	3.52	2.92	3.01	3.08	2.44	2.27

通过分析表3、4,发现走马岭水厂在三期改造完成后,由于在厂区实现自动化控制,千吨水耗电量指标较改造前有了大幅降低,从而大大节约了千吨

水制水成本。

4 结语与展望

① 走马岭水厂三期改造工程自2017年底投

产运行以来,相关水质监测数据表明:出厂水水质满足并优于国家相关标准要求,所采用的给水处理工艺和技术在生产水质、运行能耗及自动化运行控制管理水平等方面均已达到预期设计目标,降低了制水成本,提高了产水质量,取得了较好的运行效果。

② 走马岭水厂采用自动化控制运行,对武汉市东西湖区其他自来水管厂的自动化改造起到了较大的推动和示范作用。

③ 走马岭水厂三期工程因投产运行时间尚短,生产经验较少,仍需继续完善,积极依靠科技手段进一步优化新改造水厂的生产运行和管理水平,更好地为武汉市东西湖区的快速发展提供安全、优质的供水服务。

参考文献:

- [1] 王焯峤. 现代自来水厂自动化控制系统的研究与实现[J]. 科技创新与应用,2016,19(22):151-153.
Wang Yeqiao. Research and implementation of automation control system in modern waterworks [J]. Science & Technology Innovation and Application, 2016, 19(22):151-153(in Chinese).
- [2] 王娜,马军,何文杰,等. 强化混凝与臭氧预氧化强化处理微污染水的对比[J]. 中国给水排水,2010,26(5):63-65.
Wang Na, Ma Jun, He Wenjie, et al. Comparison of enhanced coagulation and ozone pre-oxidation

strengthening treatment of micro-polluted water [J]. China Water & Wastewater, 2010, 26(5):63-65 (in Chinese).

- [3] 王宗平,盛华,李敏,等. 武汉市远离城区水厂的经营管理现状与对策[J]. 中国给水排水,2009,25(8):11-15.
Wang Zongping, Sheng Hua, Li Min, et al. Present situation and countermeasures on operation management of waterworks far away from Wuhan City [J]. China Water & Wastewater, 2009, 25(8):11-15(in Chinese).



作者简介:王俊(1979-),男,重庆人,博士研究生,高级工程师,研究方向为供排水项目的建设与管理。

E-mail:707111575@qq.com

收稿日期:2018-12-10

· 信息 ·

新兴铸管再度斩获两大重量级奖项

2019年8月,新兴品牌再获殊荣,相继荣获“2019年度亚洲品牌500强”“2018—2019年度最具价值管材管件品牌”。

“亚洲品牌500强”是世界品牌实验室对亚洲品牌的影响力进行的测评。自2015年首次入选“亚洲品牌500强”以来,新兴铸管连续5年荣登该榜单,2019年排名第228位,较上年提升31个位次,展现出较强的品牌竞争力。

2019(第十一届)上海水业热点论坛聚焦当前排水管网的建设管理、污水处理提标改造和污泥无害化处理三大主题,探寻未来发展趋势,并提供可供借鉴的解决方案。论坛结合市场业绩、产品质量、品牌知名度、商业模式创新四大维度对奖项进行综合评定,最终甄选出“2018—2019年度最具价值管材管件品牌”上榜企业。

“专注输水安全,承载品质生活”是新兴铸管长期以来秉承的服务理念。新的荣誉不仅进一步提升了新兴铸管的品牌影响力,也将激励新兴进一步关注水行业动态,以优质产品助力供排水行业的发展。

(白玉峰 供稿)